

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування
Навчально-науковий інститут енергетики, автоматики та
водного господарства
Кафедра автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-
інтегрованих технологій

04-03-428М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни
«Технологічні вимірювання» (частина 1) для здобувачів вищої
освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною
програмою «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології
та робототехніка» спеціальності 174 «Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»
денної та заочної форм навчання

Рекомендовано науково-
методичною радою з якості
ННІЕАВГ
Протокол № 6 від 28.01.2025 р.

Рівне – 2025

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Технологічні вимірювання» (частина 1) для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» денної та заочної форм навчання. [Електронне видання] / Матус С. К., Сенчуров О. А. – Рівне : НУВГП, 2025. – 30 с.

Укладачі: Матус С. К., к.т.н., доцент кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій;
Сенчуров О. А., старший викладач кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Відповідальний за випуск: Древецький В. В., д.т.н., професор, завідувач кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Керівник освітньої програми «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»: Христюк А. О., к.т.н., доцент кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

© С. К. Матус,
О. А. Сенчуров, 2025
© НУВГП, 2025

Зміст

Лабораторна робота № 1.	4
Лабораторна робота № 2.	11
Лабораторна робота № 3.	17
Література	30

Лабораторна робота №1. Розширення меж вимірювання електровимірювальних приладів

1.1 Мета роботи

Навчитися визначати параметри магнітоелектричного механізму, розраховувати опір шунта до амперметра і додаткового резистора до вольтметра та експериментально підбирати шунт і додатковий резистор до вимірювального приладу

1.2 Теоретичні відомості

На практиці доводиться вимірювати струм і напругу в значних межах, використовуючи при цьому мінімум приладів – вимірювальних перетворювачів струму і напруги.

Для вимірювання постійного струму і напруги, величина яких перевищує межі вимірювальних приладів, використовують шунти, додаткові резистори і подільники напруги.

Шунт представляє собою чотиризначатискачевий резистор, виготовлений із манганіну, і призначений для розширення меж вимірювання струму магнітоелектричного приладу. Застосовувати шунти з приладами інших систем недоцільно, оскільки ті споживають відносно велику потужність і шунти для них мали б великі габарити і значне споживання енергії. Шунт вмикають в коло послідовно, але паралельно з вимірювальним приладом (рис. 1.1).

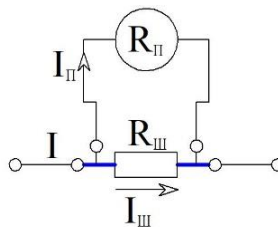


Рис. 1.1 Схема вмикання приладу з шунтом

Струм в колі

$$I = I_{ш} + I_{п}, \quad (1.1)$$

де $I_{ш}$ – струм, що протікає через шунт; I_n – струм, що протікає через вимірювальний прилад.

Напруга на приладі і на шунті рівна

$$I_{ш}R_{ш} = I_n R_n \quad (1.2)$$

або

$$I_{ш} = \frac{I_n R_n}{R_{ш}}, \quad (1.3)$$

де $R_{ш}$, R_n – відповідно, опір шунта і приладу.

Підставивши значення $I_{ш}$ в (1.1) отримаємо

$$I_{ш} = \frac{I_n R_n}{R_{ш}} + I_n = I_n \left(\frac{R_n}{R_{ш}} + 1 \right) \quad (1.4)$$

$$\frac{I}{I_n} = n = \frac{R_n}{R_{ш}} + 1 \quad (1.5)$$

де n – коефіцієнт шунтування

$$R_{ш} = \frac{R_n}{n-1} \quad (1.6)$$

Шунти для порівняно невеликих струмів (кілька ампер) вмонтовують всередині приладу – внутрішні шунти. Для великих струмів застосовують зовнішні шунти, які поділяються на індивідуальні і взаємозамінні. Індивідуальні – для приладу, з яким градувався шунт, а взаємозамінні – для уніфікації приладів на певні струми і напруги.

Номінальні значення спаду напруги на шунті можуть дорівнювати: 15, 30, 45, 75, 150, 300 мВ, а номінальний струм 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 7,5) · 10ⁿ, де n – будь-яке ціле число.

Додаткові резистори застосовують для розширення меж вимірювання вольтметрів різних систем, паралельних кіл ватметрів, лічильників, фазометрів та інших приладів, які мають обмотки напруги що підключаються в коло паралельно.

Якщо номінальна напруга вимірювального приладу

$$U_H = I_H R_H \quad (1.7)$$

де I_H – номінальний струм приладу, R_H – опір приладу, і потрібно розширити межу вимірювання в m раз то

$$U_H \cdot m = mI_H \cdot R_{\Pi} = I_H (R_{\Pi} + R_D), \quad (1.8)$$

де R_D – опір додаткового резистора, звідки

$$R_D = R_{\Pi}(m - 1). \quad (1.9)$$

Додаткові резистори виготовляють із манганіну і розміщують всередині корпусу вимірювального приладу або в окремому корпусі. В приладах на кілька меж вимірювання додаткові резистори виготовляють із декількох секцій. Зміна меж у таких приладах (рис. 1.2) виконується з допомогою штепсельних, важільних або кнопкових перемикачів.

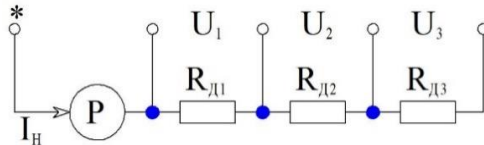


Рис. 1.2 Схема приладу з додатковими резисторами

Зовнішні додаткові резистори бувають індивідуальні або взаємозамінні. Номінальний струм взаємозамінних додаткових за номінальної напруги вибирають з ряду: 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 5,0; 7,5; 15; 30; 60 мА.

Подільники напруги використовують при вимірюванні високої напруги. Вимірювальна напруга U прикладається до всього подільника, а її частина знімається із затискача 0 та затискача, який має свій коефіцієнт поділу (рис. 1.3).

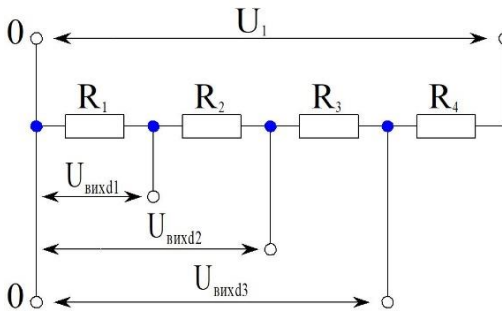


Рис. 1.3 Схема подільника напруги

Напруга на виході подільника визначають за формулою

$$U_{\text{вих}} = \frac{UR_K}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = \frac{UR_K}{\sum_{i=1}^n R_i} = \frac{U}{d_K} \quad (1.10)$$

де R_K – опір частини подільника між затискачами; $\sum_{i=1}^n R_i$ – опір

всього подільника; $d_K = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}{R_K}$ – коефіцієнт поділу.

В нашому випадку $d_1 = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{R_1}$, $d_2 = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{(R_1 + R_2)}$,

$$d_3 = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{(R_1 + R_2 + R_3)}.$$

Тоді

$$U = U_{\text{вих}} \cdot d_K \quad (1.11)$$

1.3 Програма роботи

1. Експериментально визначити параметри магнітоелектричного приладу.
2. Розрахувати опір шунта до амперметра для розширення меж вимірювання і практично його підібрати.
3. Розрахувати опір додаткового резистора до вольтметра для розширення меж вимірювання і практично його підібрати.
4. Перевірити градуювання шкал амперметра і вольтметра.

1.4 Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему для вимірювання параметрів магнітоелектричного механізму згідно рис. 1.4, $R_{об}$ – обмежувач опір, РА – зразковий прилад (мультиметр), Р – досліджуваний прилад, R_o – магазин опорів.

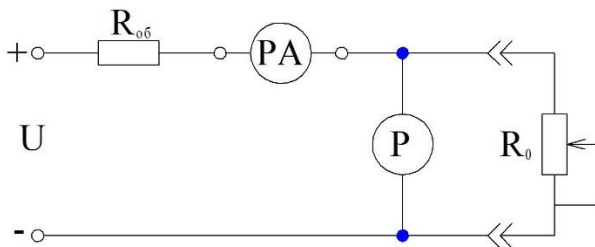


Рис. 1.4 Схема для вибору шунта

2. Ввімкнути блок живлення і за допомогою регуляторів VOLTAGE поступово збільшуючи напругу встановити стрілковий показчик досліджуваного приладу P на кінцеву відмітку шкали (при цьому регулятор COARSE використовується для грубого встановлення напруги, FINE – для точного). Визначити струм повного відхилення I_B за показами зразкового приладу (мультиметр) PA, результат занести до табл. 1.1.

3. Визначити внутрішній опір досліджуваного приладу, для цього паралельно досліджуваному приладу P підключити магазин опорів R_0 і виставити опір. Опір поступово зменшувати, поки стрілка приладу не буде на середині шкали. Записати опір магазину, це буде внутрішній опір приладу R_B , результат занести до табл. 1.1.

4. Розрахувати напругу повного відхилення $U_B = I_B \cdot R_B$, результат занести до табл. 1.1.

5. Розрахувати шунтовий резистор $R_{ш}$ для заданої межі вимірювання I_n , $R_{ш} = \frac{U_B}{I_n - I_g}$. Результат занести до табл. 1.1.

Таблиця 1.1

I_B, mA	R_B, Ω	U_B, V	I_n, mA	$R_{ш}, \Omega$
1	2	3	4	5

6. Магазин опорів R_0 поставити на розраховане значення $R_{ш}$, мультиметр PA – на межу вимірювання 200 mA.

7. Включити напругу і плавно її збільшувати до повного відхилення стрілкового показчика досліджуваного приладу Р на кінцеву відмітку шкали, струм по мультиметру РА має бути I_H

8. Перевірити градуювання виготовленого міліамперметра. Змінюючи напругу, встановити покази $I_{вим}$ за шкалою досліджуваного приладу Р на 100%, 80%, 60%, 40%, 20%, 0 від I_H і визначити дійсний струм I_d за зразковим приладом РА (мультиметр). Результати занести до табл. 1.2.

9. Розрахувати приведену похибку $\gamma_{пр} = \frac{I_{вим} - I_d}{I_H} \cdot 100\%$,

результати занести до табл. 1.2.

Таблиця 1.2

$I_{вим}^*$, %	0	20	40	60	80	100
$I_{вим} = \frac{I_{вим}^*}{100} \cdot I_H, mA$						
I_d, mA						
$\gamma_{пр}, \%$						

10. Зібрати схему для вимірювання параметрів магнітоелектричного механізму згідно рис. 1.5, R_d – магазин опорів, Р – досліджуваний прилад

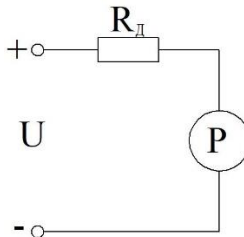


Рис. 1.5 Схема для вибору додаткового резистора

11. Розрахувати значення додаткового резистора R_d для заданої межі вимірювання U_H (задається викладачем)

$$R_d = \frac{U_H}{I_g} - R_g.$$

12. Магазин опорів R_0 поставити на розраховане значення, R_d . Включити напругу і плавно її збільшувати до повного відхилення стрілкового показчика досліджуваного приладу P на кінцеву відмітку шкали, напруга по вольтметру PV блока живлення має бути $\square U_H$.

13. Перевірити градуювання виготовленого вольтметра. Змінюючи напругу, встановити покази $U_{вим}$ за шкалою досліджуваного приладу P на 100%, 80%, 60%, 40%, 20%, 0 від U_H і визначити напругу U_d за вольтметром PV блока живлення. Результати занести до табл. 1.2.

14. Розрахувати приведену похибку $\gamma_{пр} = \frac{U_{вим} - U_d}{U_H} \cdot 100\%$,

результати занести до табл. 1.2.

Таблиця 1.2

$U_{вим}^*$, %	0	20	40	60	80	100
$U_{вим} = \frac{U_{вим}^*}{100} \cdot U_H$, В						
U_d , В						
$\gamma_{пр}$, %						

1.5 Контрольні запитання

1. Що таке шунт?
2. Які є типи шунтів?
3. Як розраховують шунт до приладів магнітоелектричної системи?
4. Як експериментально підбирають опір шунта?
5. Що таке додатковий опір?
6. Як виконується розрахунок додаткового резистора до вольтметра?
7. Які є типи додаткових резисторів?
8. Як експериментально підбирають додатковий опір?
9. Де використовуються подільники напруги?
10. Як визначити внутрішній опір приладу?

Лабораторна робота №2. Дослідження лічильника електричної енергії

2.1 Мета роботи

Дослідити режими роботи лічильника електричної енергії. Навчитися працювати з приладом для вимірювання напруги, сили струму та кількості спожитої електричної енергії.

2.2 Теоретичні відомості

Лічильник електричної енергії НІК 2301 АПЗ призначений для вимірювання активної електричної енергії в трифазних колах змінного струму. Лічильник відповідає вимогам ДСТУ ІЕС 62053-21 та ТУ У 33.2-33401202-005:2006. Лічильник застосовується для обліку електричної енергії в будь яких галузях.



Вимірювальна частина лічильника реалізована на спеціалізованій інтегральній мікросхемі.

Лічильник має вихід, для випробування, що відповідає вимогам ДСТУ ІЕС 62053-21, який призначений для калібрування та перевірки. На вимогу замовника у лічильник додатково може вбудовуватись вихід, для передачі даних, що дозволяє використовувати лічильник в автоматизованих системах обліку електроенергії.

Лічильник мають світлодіодні індикатори “imp/kW·h” та “МЕРЕЖА”, а також індикатори стану “А”, “В” та “С” призначення яких описано у таблиці 2.1

Таблиця 2.1

Стан індикаторів "А", "В", "С"	Опис ситуації
Індикатори не горять	Штатна робота лічильника
Часте миготіння (з періодом 0,5 с) одного з індикаторів "А", "В" чи "С"	Напруга відповідної фази на вході лічильника більше $1,15U_{ном}$

Миготіння (з періодом 2 с) одного з індикаторів "А", "В" або "С"	Напруга відповідної фази на вході лічильника менше $0,8U_{ном}$
Індикатори "А", "В", "С" послідовно спалахують і гаснуть	Зворотна послідовність фаз на вході лічильника
Одночасно миготять. Індикатори "А", "В", "С" одночасно спалахують і гаснуть	Зворотний напрямок струму в одній із фаз (реверс)

Принцип роботи лічильника

Вимірювання активної електричної енергії здійснюється шляхом аналого-цифрового перетворення електричних сигналів, що надходять від первинних перетворювачів сили струму та напруги, з подальшим обчисленням потужності та її інтегруванням по часу. На виході мікросхеми формується послідовність імпульсів, частота яких пропорційна до активної потужності. В якості первинних перетворювачів сили струму і напруги використовуються трансформатор струму та резистивний подільник. Мікросхема лічильника формує сигнали керування кроковим двигуном для лічильного механізму, та виходів для випробування та передачі даних.

Лічильник вимірює енергію із наростаючим підсумком незалежно від її спрямування. Зворотний напрямок енергії виникає у разі неправильного підключення проводів генератора та навантаження. При цьому робота індикатора функціонування, виходів не порушується.

Технічні характеристики лічильника наведені в табл. 2.2

Таблиця 2.2

Клас точності за ДСТУ ІЕС 62053-21	1,0
Номінальна напруга, U_n , В	$3 \times 220/380$
Допустимі відхилення напруги, % від U_n	від мінус 20 до плюс 15
Номінальна сила струму, I_n , А	5
Максимальна сила струму, $I_{макс}$, А	120
Номінальна частота, Гц	50
Чутливість, мА	12,5

Споживана потужність: в колах напруги, В·А (Вт); в колах струму ($I = I_n$), В·А	не більше 10 (2) не більше 0,05
Кількість розрядів лічильного пристрою	6+1
Стала випробувального виходу, імп/кВт·год	8000
Стала додаткового виходу, імп/кВт·год	200
Тривалість імпульсів, мс	80
Міжповітряний інтервал	16 років
Діапазон температури: робочий; зберігання	від мінус 40 °С до плюс 70°С від мінус 40 °С до плюс 70°С
Ступінь захисту	IP54
Габаритні розміри: без кронштейна; з кронштейном	208 мм × 170 мм × 84 мм 314 мм × 170 мм × 84 мм
Маса, кг	не більше 2,3

Конструкція лічильника відповідає вимогам ДСТУ ІЕС 62053-21. Лічильник виконаний у пластмасовому корпусі, що складається з цоколя, в який встановлена друкована плата на якій розміщено електронні компоненти лічильника, плата з трансформаторами струму та прозорого кожуха. Цоколь і кожух лічильників з'єднується трьома гвинтами для пломбування лічильника. Для кріплення лічильника у точці обліку є спеціальний кронштейн. При установці лічильників на DIN-рейку кронштейн не використовується. Конструкція лічильника забезпечує їх захист від впливу постійного та змінного магнітного поля підвищеної інтенсивності. Кола струму та напруги в лічильнику прямого включення з'єднуються зовнішніми перемичками, які встановлюються на виробником.

Тривалість вихідних імпульсів на виході для випробування змінна та становить 80 мс при малих навантаженнях. Із збільшенням навантаження на виході формується «меандр», відповідно, при цьому тривалість імпульсів залежить від

навантаження. Тривалість вихідних імпульсів на виході для передачі даних залежить від навантаження і становить (80 ± 1) мс. Індикатор функціонування «imp/kW·h» та вихід для випробування працюють синхронно.

2.3 Програма роботи

1. Ознайомитися із будовою електронного лічильника, вивчити принцип його роботи, функціональні можливості та способи підключення до мережі.
2. Провести вимірювання лічильником активної електричної енергії.

2.4. Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему лабораторної установки відповідно схеми (рис. 2.1).
2. Показати зібрану схему викладачеві.
3. Під'єднати до лічильника НК 2301 АПЗ прилад UNIT233 для вимірювання напруги на кожній із фаз.
4. Подати напругу на схему та переконатися в правильній роботі лічильника НК 2301 АПЗ при номінальній напрузі $U_{ном}$ на кожній із фаз.

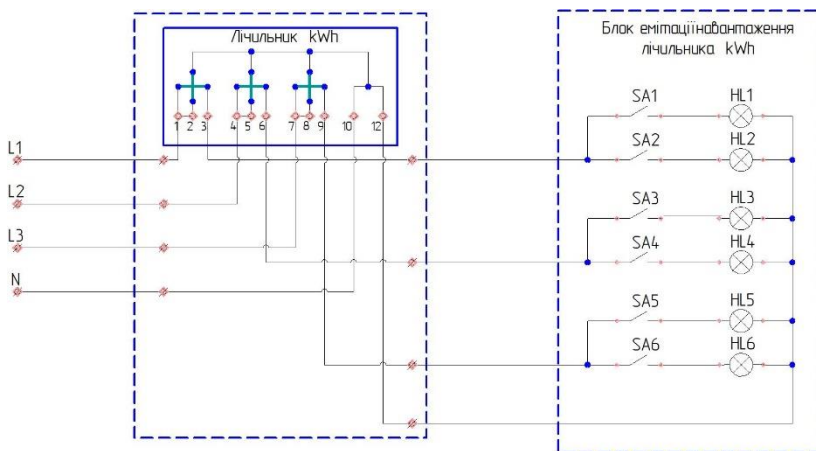


Рис. 2.1. Схема лабораторної установки

5. За допомогою автотрансформатора зменшити напругу на одній із фаз до значення $U \ll U_{ном}$. Переконайтеся у індикації світлодіоду на панелі лічильника про даний режим роботи



6. Змінити схему включення активного навантаження по одній із фаз із паралельної на послідовну.

7. За допомогою автотрансформатора збільшити напругу на одній із фаз до значення $U \gg U_{ном}$. Переконайтеся у індикації світлодіоду на панелі лічильника про даний режим роботи.



8. Відновити схему підключення до початкової, див. п.6.

9. Змінити послідовність підключення фаз на зворотну на лічильник НІК 2301 АПЗ із "А", "В", "С" на "С", "В", "А". Переконайтеся у індикації світлодіоду на панелі лічильника про даний режим роботи.



11. Відновити схему підключення до початкової послідовності фаз.

12. Підключити струмові кліщі приладу UNIT 233 до фази "А". Приєднати лічильник імпульсів до світлодіода на панелі НІК 2301 АПЗ. Прилад UNIT 233 перевести у режим вимірювання кількості спожитої електроенергії.

13. Зафіксувати покази лічильного механізму на панелі лічильника НІК 2301 АПЗ.

14. Включити активне навантаження на час вказаний викладачем.

15. Визначити кількість спожитої електроенергії за показами лічильного механізму лічильника НІК 2301 АПЗ.

16. Визначити кількість спожитої електроенергії за кількістю імпульсів n світлодіода на панелі лічильника НІК 2301 АПЗ за співвідношенням:

$$kWh_n = \frac{n}{8000} \quad (2.1)$$

17. Порівняти отримані значення спожитої електроенергії лічильним механізмом лічильника із значенням отриманим за співвідношенням (2.1) та показами приладу UNIT 233. При цьому слід враховувати, що прилад UNIT 233 відображає кількість спожитої електроенергії по одній фазі "А".

18. Визначити абсолютну ΔkWh_n та відносну ε_{kWh} похибки вимірювань кількості спожитої електроенергії за співвідношеннями:

$$\Delta_{kWh} = kWh_n - kWh_{UNIT233} \quad (2.2)$$

$$\varepsilon_{kWh} = \frac{kWh_n - kWh_{UNIT233}}{kWh_{UNIT233}} \quad (2.3)$$

17. Оформити звіт про виконання лабораторної роботи.

2.5 Контрольні запитання

1. В яких одиницях вимірюється кількість спожитої електроенергії?

2. Який принцип роботи лічильника електричної енергії?

3. Яка тривалість вихідних імпульсів на виході для випробування при малих навантаженнях?

4. Яка тривалість вихідних імпульсів на виході для передачі даних?

5. Як обчислюється кількість спожитої електроенергії за кількістю імпульсів на виході для передачі даних?

Лабораторна робота №3. Дослідження інформаційно-вимірювальної системи контролю маси матеріалів

3.1 Мета роботи

Ознайомитися із застосуванням сучасних засобів для автоматизації процесів зважування. Вивчити будову та принцип роботи системи контролю маси речовини за допомогою тензорезисторних перетворювачів. Оцінити похибки вимірювань.

3.2 Теоретичні відомості

Тензодавачі. Сучасні виробничі процеси пред'являють підвищений попит до методів і засобів зважування, вимагаючи від вимірювальної техніки не лише високої точності, стабільності і достовірності показів, але і стійкості до агресивних дій навколишнього середовища і надійної роботи протягом всього терміну служби.

Поява прецизійних тензометричних давачів будь-якого конструктивного і кліматичного виконання дозволила вирішити проблеми перетворення інформації про масу в електричний сигнал для різноманітних зважувальних пристроїв. Проте питання, пов'язані з управлінням, обробкою і представленням інформації в зручному для людини вигляді, залишилися. Різні спеціалізовані технічні засоби, що випускаються промисловістю застосовуються, як правило, після значних доопрацювань. Основні проблеми при виборі технічних засобів – забезпечення високої надійності в промислових умовах (вібрація, пил, волога, температура) і розробка інтелектуального програмного забезпечення, що реалізовує функції людино-машинного інтерфейсу.

Сучасні системи зважування матеріалів побудовані, як правило, на основі тензорезисторних давачів (тензодавачів). Зовнішній вигляд тензодавачів різних типів показаний на рис.3.1.

Як відомо, тензорезистори – це резистори, які під дією прикладених до них механічних навантажень змінюють свій опір. Тензорезистори відрізняються за типом конструкції (рис. 3.2) та матеріалу, з якого вони виготовлені. Металеві тензорезистори

застосовують при вимірюванні відносних деформацій від 0,002 до 1...2%, напівпровідникові – до 0,1...0,2%, навісні металеві – до 10%, а еластичні (гнучкі каучукові трубки, заповнені електролітом) – до 30...50%. Тензорезистори практично безінерційні і використовуються для вимірювань, зокрема змінних деформацій в діапазоні частот до 100 кГц.



Рис. 3.1. Зовнішній вигляд тензодавачів

Для вимірювання деформацій чи величин, попередньо перетворених у деформацію пружного перетворювального елемента, тензорезистор наклеюють на досліджувану деталь.

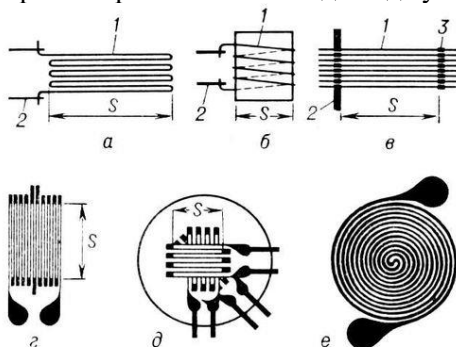


Рис. 3.2. Решітки тензодавачів:

дротові: петлева (а), виткова (б), з перемичками (в); фольгові: для вимірювання однієї деформації (г), трьох деформацій (д) і кільцевих деформацій (е); 1 – дріт; 2 – виводи решітки; 3 – перемички

Для температур до 200°C застосовують бакеліто-фенольні клеї (БФ), бакелітовий лак, а для вищих температур – жаростійкі кремнійорганічні цементи та цементи на основі рідкого скла.

Особливістю наклеєних тензорезисторів є те, що вони не можуть бути перенесені з одного об'єкта на інший. Тому дійсна функція перетворення робочого тензорезистора не може бути визначена, а для її оцінки знаходять функцію перетворення аналогічного тензорезистора цієї партії. Оскільки властивості окремих тензорезисторів із певної їх партії, а також умови їх приклеювання загалом дещо різні, то відзначається деяка неоднозначність дійсної та номінальної функцій перетворення.

Досвід свідчить, що похибка від неідентичності функцій перетворення при акуратному приклеюванні тензорезисторів з одної партії не перевищує 1,5%. Вихідним інформативним параметром тензорезисторів є зміна їх опору і тому основними вимірювальними схемами тензорезистивних перетворювачів є мостові схеми. Тензорезистор може бути увімкненим в одне із плечей моста, в два плеча або мостову схему складену повністю із тензорезисторів (рис. 3.3 і рис. 3.4).

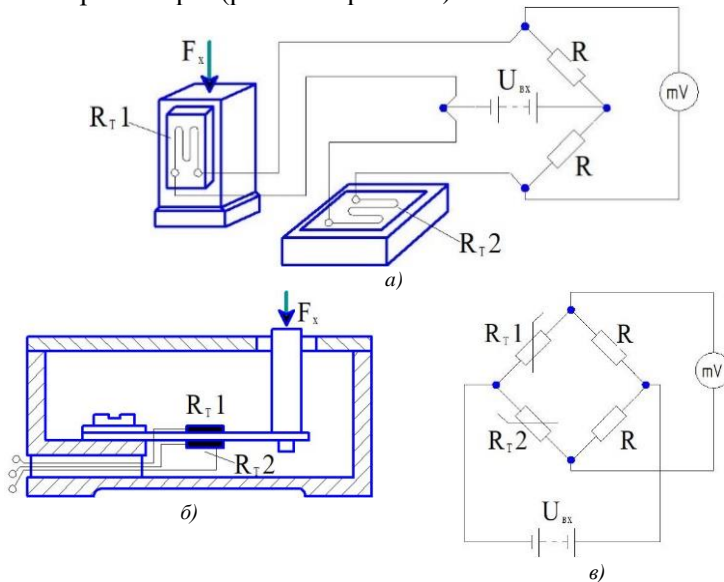


Рис. 3.3. Схеми увімкнення тензорезисторів

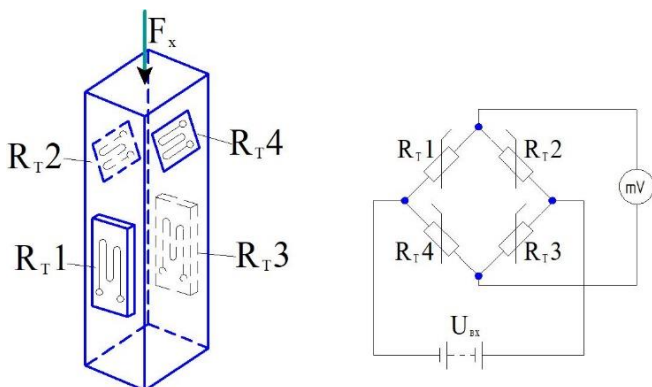


Рис. 3.4. Вимірвальна схема з чотирма тензорезисторами

Оскільки відносна зміна опору тензорезисторів досить незначна ($\varepsilon_R < 1\%$), то суттєвий вплив на результат вимірювань має температура навколишнього середовища. Отже, необхідно передбачити температурну компенсацію. Зокрема, якщо використовують мостову схему з одним робочим тензорезистором (рис. 3.3, а), то для температурної компенсації необхідний інший неробочий тензорезистор $R_{T2} = R_0$ аналогічний робочому R_{T1} , який був би в однакових температурних умовах із робочим. Тоді зміна опорів двох ідентичних і робочого та компенсаційного тензорезисторів, зумовлена зміною температури навколишнього середовища при незмінному значенні вимірюваної деформації, не викликає зміни вихідної напруги.

Якщо первинними перетворювачами механічного навантаження (тиску) в деформацію є консольні (мембранні) перетворювальні елементи, то як робочі можна використати два ідентичні тензорезистори. Вони наклеюються із протилежних сторін чутливого елемента так, щоб один сприймав деформацію розтягу, а інший деформацію стиску. В такому випадку, їх вмикають диференціально в мостову схему (рис. 3.3, б), при цьому температурна похибка виключається, а чутливість мостової схеми збільшується у двічі.

Дві пари диференціальних тензорезисторів, які утворюють

повний тензометричний міст, забезпечують найкращу корекцію температурних похибок і у чотири рази збільшують чутливість.

Якщо використовується блок із чотирьох ідентичних тензорезисторів, наклеєних на поверхню досліджуваного об'єкта так, що тензорезистори R_{T1} та R_{T3} (рис. 3.4) сприймають поздовжню деформацію, а R_{T2} та R_{T4} – поперечну, то при їх увімкненні в мостову схему температурна похибка також буде компенсуватись.

На практиці застосовують складні схеми тензометричних мостів, де, крім основних (робочих) тензорезисторів, вмикають регулювальний резистор для встановлення початкового значення діапазону вимірювань (найчастіше нульового значення вихідної напруги), температурозалежний резистор для компенсації зміни чутливості схеми від зміни температури навколишнього середовища та резистор для регулювання і встановлення номінальної чутливості. Термозалежний резистор повинен мати надійний тепловий контакт з досліджуванним об'єктом (чи перетворювальним пружним елементом), на якому наклеєні робочі тензорезистори. Для цього він приклеюється до досліджуваного об'єкта (пружного елемента) за допомогою електроізоляційного клею з хорошою теплопровідністю.

Крім незрівноважених мостових схем, у тензометрії можуть бути використані і зрівноважені мостові схеми. До переваг останніх слід віднести незалежність показів від зміни напруги джерела живлення, відсутності похибки від нелінійності функції перетворення, що спостерігається в незрівноважених мостових схемах. Недоліком зрівноважених мостових схем є низька швидкодія при ручному зрівноважуванні або складність вимірювального засобу при автоматичному зрівноважуванні.

На основі тензодавачів випускають різні типи ваг: конвеєрні, платформенні, бункерні, кранові, монорейкові тощо.

Автоматизовані інформаційно-вимірювальні системи обліку і контролю маси

Сучасні системи обліку і контролю маси матеріалів є програмно-апаратним комплексом на основі персональних або промислових комп'ютерів, що призначені для отримання

параметрів і вимірних значень з вагового терміналу, накопичення їх у комп'ютері у вигляді бази даних для параметричного аналізу. Структура такої системи показана на рис. 3.5.

Основні характеристики системи:

- ваговий контролер встановлюється у безпосередній близькості від ваги і виконує управління процесом зважування. У ньому наявні лічильники матеріалу і можливе відображення величин керуючих сигналів (наприклад, струм аналогового виходу);

- контролер має інтерфейс RS-422/RS-485 для комунікації із зовнішніми пристроями. Тому зв'язок із комп'ютером можливий на відстані порядку 1 км. Для шини передачі даних використовується екранована вита пара;

- для підключення до послідовного порту комп'ютера використовується перетворювачі інтерфейсу RS-485/RS-232 або RS-485/USB;

- дані накопичуються в реляційній базі даних. Періодичність опитування налаштовується користувачем. Збережені дані доступні для аналізу за декількома параметрами (наприклад: період часу, межі зміни величин тощо). Результати аналізу представляються в табличному або графічному вигляді. Можливий також експорт даних у відкритому форматі (.txt, .xls, .xml та ін.) або безпосередньо в таблиці локальних або корпоративних баз даних (dBase, SQL Server тощо).

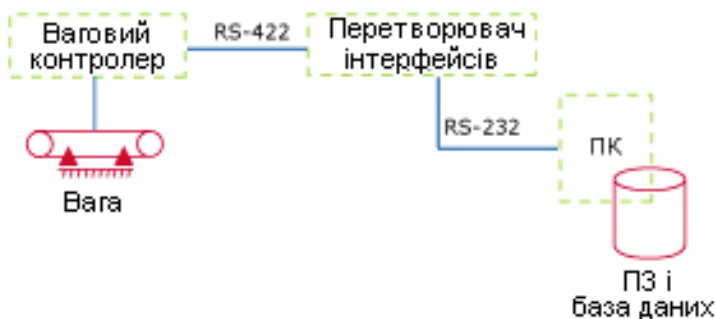


Рис. 3.5. Структурна схема автоматизованої системи обліку і контролю маси

3.3 Опис лабораторної установки

Лабораторна установка складається з тензодавача (1), блока перетворення сигналів тензодавачів БПТ-2 (2), клемно-блочних з'єднувачів (3), одноканального мікропроцесорного індикатора ІТМ-10 (4), механічного зважувального пристрою (5) та навантаження (6).

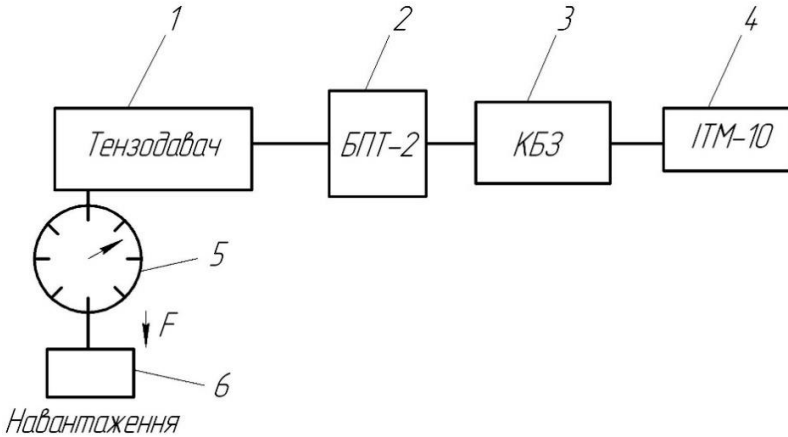


Рис. 3.6 Принципова схема лабораторної установки

Блок перетворення сигналів тензодавачів БПТ-2

Блок перетворення сигналів тензодавачів БПТ-2 підприємства "Мікрол" призначений для неперервного перетворення сигналу тензодавача в системах автоматичного зважування в уніфікований струмовий сигнал (0–5 мА, 0–20 мА, 4–20 мА).

Блок використовується для спільної роботи з обчислювальними комплексами, які мають вхід для підключення стандартного аналогового сигналу.

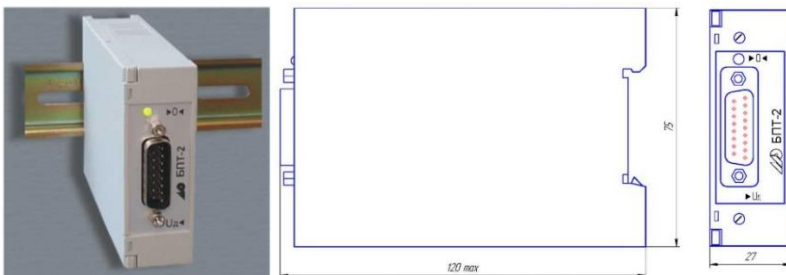


Рис. 3.7. Зовнішній вигляд і габаритні розміри блока БПТ-2

Блок складається з наступних основних функціональних вузлів:

- мостова схема;
- 3-каскадний підсилювач;
- коло негативного зворотного зв'язку;
- джерело живлення;
- джерело опорної напруги;
- трансформатор, стабілізатор;

За допомогою мостової схеми здійснюється компенсація нульового початкового значення вхідного сигналу.

Вихідний сигнал блока, сумується із вихідною напругою мостової схеми, надходить на вхідний каскад підсилювача каналу, що є одночасно активним фільтром. На виході першого каскаду включений додатковий RC-фільтр, що разом з першим каскадом забезпечує необхідну компенсацію поперечної завади.

Другий і третій каскад забезпечують підсилення потужності до уніфікованого сигналу постійного струму. Всі каскади підсилювача охоплені негативним зворотним зв'язком за вихідним струмом.

Джерело живлення забезпечує напруги, необхідні для живлення каскадів підсилювача, а також джерела опорної напруги для живлення мостової схеми.

Для забезпечення завадозахищеності й гальванічної розв'язки каналів живлення давача і схеми вимірювання один від одного живлення здійснюється від окремої обмотки трансформатора. Під'єднання живлення та сигналу тензодавача проводиться за допомогою клемно-блочного з'єднувача КБЗ-8-11

підприємства "Мікрол". Схема зовнішніх з'єднань БПТ-2 наведена на рис. 3.8.

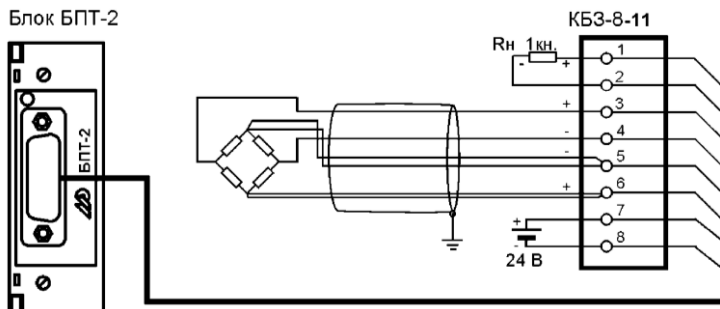


Рис. 3.8 Схема зовнішніх з'єднань БПТ-2 з використанням клемно-блочного з'єднувача КБЗ-8-11

Індикатор мікропроцесорний одноканальний ІТМ-10

Індикатор ІТМ-10 – це пристрій для контролю значення одного вхідного параметра, обробки й перетворення його у двох різних шкалах. Тобто, один вхідний сигнал можна подавати на перший і другий функціональні блоки нормалізації та масштабування з різними калібруваннями, типами шкал, параметрами лінеаризації.

Структура індикатора ІТМ-10 за допомогою конфігурації може бути змінена таким чином, що можуть бути вирішені наступні завдання автоматизації:

- індикатор одного параметра з сигналізацією мінімуму і максимуму;
- пристрій сигналізації, дво- або трипозиційний регулятор;
- системи цифрової індикації технологічних параметрів;
- віддалені пристрої зв'язку з об'єктом та індикацією;
- територіально розподілені і локальні системи управління;
- віддалений збір даних, диспетчерський контроль, управління виробництвом;
- індикатор параметра, що передається по інтерфейсу RS-232.

Внутрішня пам'ять індикатора ІТМ-10 містить велику кількість стандартних функцій необхідних для управління

технологічними процесами і вирішення великої кількості інженерних завдань.



Рис. 3.9. Зовнішній вигляд мікропроцесорного індикатора ITM-10

Індикатор ITM-10 працює під керуванням високоінтегрованого мікроконтролера RISC архітектури, виготовленого за високошвидкісною КМДН-технологією з низьким енергоспоживанням. У постійному запам'ятовувальному пристрої розташовується велика кількість функцій для вирішення завдань контролю. За допомогою конфігурування користувач може самостійно налаштувати індикатор на рішення певних завдань.

Індикатор ITM-10 оснащений аналого-цифровим перетворювачем, вузлами цифро-дискретного виводу, сторожовими схемами для контролю циклів роботи програми, енергонезалежною пам'яттю EEPROM, NVRAM для збереження параметрів конфігурації і даних користувача.

Внутрішня програма індикатора ITM-10 функціонує з постійним часовим циклом. На початку кожного циклу внутрішньої робочої програми зчитується значення аналогового входу, здійснюється зчитування й обробка клавіатури, прийом команд і даних з послідовного інтерфейсу. За допомогою цих вхідних сигналів здійснюються, відповідно до запрограмованих функцій і параметрів конфігурації, всі обчислення. Після цього відбувається виведення інформації на аналоговий і дискретні виходи, індикаторні елементи, а також фіксація обчислених величин для режиму передачі по послідовному інтерфейсу.



Рис. 3.10. Структурна схема індикатора ІГМ-10

Індикатор ІГМ-10 конфігурується через передню панель приладу або через гальванічно розв'язаний інтерфейс RS-485 (протокол Modbus), що також дозволяє використовувати прилад як віддалений пристрій при роботі в сучасних мережах управління і збору інформації.

Параметри конфігурації індикатора ІГМ-10 зберігаються в незалежній пам'яті і прилад здатний відновити виконання завдань управління після переривання напруги живлення. Батарея резервного живлення не використовується.

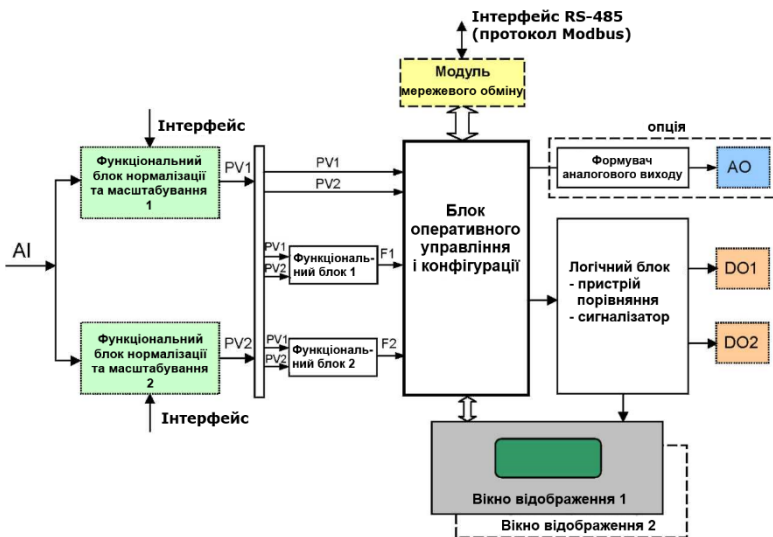


Рис. 3.11. Функціональна схема індикатора ІГМ-10

3.4 Програма роботи

1. Ознайомитися із сучасним методами вимірювання і контролю маси речовин.
2. Вивчити будову і принцип дії лабораторної установки. Ознайомитися з можливостями та рівнями конфігурації мікропроцесорного індикатора ІТМ-10.
3. Перевірити роботу лабораторної установки. Оцінити похибки вимірювань.

3.5 Порядок виконання роботи

1. Прочитати теоретичні відомості.
2. Ознайомитися з будовою лабораторної установки та призначенням всіх її елементів.
3. Записати номінальні характеристики тензодавача.
4. З дозволу викладача увімкнути живлення установки.
5. Встановити нульове навантаження і провести налаштування нульової відмітки.
6. Ознайомитися з принципом калібрування і налаштування мікропроцесорного індикатора ІТМ-10.
7. Змінювати навантаження на тензодавач і порівняти покази механічного приладу та індикатора ІТМ-10. Визначити абсолютну, відносну та приведену похибки. Результати записати в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Дійсні значення за механічним приладом, кг	Покази приладу ІТМ-10, кг	Похибки		
		абсолютна, кг	відносна, %	приведена, %
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
0,5				
1,0				
1,5				
2,0				

2,5				
3,0				
3,5				
...				
9,0				

7. Пояснити причини виникнення похибок, зробити висновки.

3.6 Контрольні запитання

1. Що таке тензорезистор?
2. Які існують схеми увімкнення тензорезисторів у мостові кола?
3. Які переваги і недоліки вимірювальних систем з використанням тензодавачів?
4. Для чого використовують блок БПТ-2?
5. Які основні можливості приладу ІТМ-10?
6. Зобразіть структурну схему індикатора ІТМ-10.
7. Зобразіть структурну схему лабораторної установки та поясніть призначення її елементів.

Література

1. Метрологія та вимірювальна техніка : підручник / Є. С. Поліщук та ін. ; за ред. проф. Є. С. Поліщука ; 2-ге вид., доп. та переробл. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2012. 544 с.
2. Контрольно-вимірювальні прилади систем керування / М. В. Лукінюк та ін. Київ : «Видавництво “Науковий світ”», 2016. 649 с.
3. Дорожовець М. М., Мокрицький В. О. Аналого-цифрові перетворювачі : навчальний посібник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2013. 120 с.
4. Вимірювальні перетворювачі (сенсори) : підручник / В. М. Ванько та ін.; за ред. проф. Є. С. Поліщука та В. М. Ванька. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2015. 584 с.
5. Ельперін І. В., Пупена О. М., Сідлецький В. М., Швед С. М. Автоматизація виробничих процесів : підручник. Вид. 2-ге, виправлене. Київ : Вид. Ліра-К, 2023. 378 с.
6. Клименко О. П., Каюн І. Г., Шейкус А. Р. Контроль і управління технологічними процесами : навчальний посібник. Дніпро : ДВНЗ УДХТУ, 2019. 179 с.